

Effets de jachères agroforestières sur les propriétés d'un sol ferrugineux et sur la production céréalière

Sur les sols ferrugineux tropicaux, les travaux agronomiques ont montré que la seule fertilisation minérale ne permet pas, à long terme, le maintien ou l'augmentation des rendements à cause de la baisse du stock de matière organique de ses sols et de la dégradation des propriétés physiques, chimiques et biologiques qui y sont liées (PIERI, 1989).

Le recours à des voies biologiques pour gérer durablement la fertilité des terres de savane semble une nécessité. Les jachères agroforestières peuvent raccourcir le temps de jachère naturelle : les effets attendus sont d'une part la restauration de la fertilité, en agissant sur l'ensemble des cycles biogéochimiques, et d'autre part une production de bois ou d'un autre produit, comme la gomme arabique.

En zone de savane d'Afrique subsaharienne, la jachère fait partie des pratiques agricoles traditionnelles, mais sa place dans les systèmes agraires est aujourd'hui fortement remise en question. L'augmentation de la pression sur les ressources fait qu'elle est souvent surexploitée et sa durée se raccourcit, si bien que son efficacité dans la restauration de la fertilité des sols s'en trouve réduite. Néanmoins, si le recours à la jachère longue diminue de plus en plus, il subsiste toujours des étendues dégradées qu'il faut gérer au mieux.

Les effets des jachères naturelles sur les propriétés chimiques des sols ont été étudiés depuis de nombreuses années. D'après différents auteurs (GREENLAND et NYE, 1959 ; MOREL et QUANTIN, 1964 ; JAIEYEBOBA, 1988 ; FELLER *et al.*, 1993), les effets sont lents et on ne peut espérer augmenter notablement les stocks organiques des sols que par des jachères de plus de 5 ans, voire 7-8 ans. Les recherches sur ces effets sont loin d'être achevées et surtout nuancées en fonction des situations et des types de jachère (OUATTARA *et al.*, 1997). Dans de jeunes jachères, de faibles variations du stock organique du sol pourraient avoir une influence sur les processus rapides du sol comme les cycles de minéralisation et d'immobilisation de l'azote, les transferts de nutriments vers des formes assimilables ou l'organisation des constituants du sol (FELLER *et al.*, 1993). Enfin, très peu de travaux sont décrits sur les effets de jeunes plantations forestières à base d'espèces à croissance rapide. Un certain nombre de questions se pose quant à la capacité de ces plantations d'accélérer les processus de restauration de la fertilité des sols :

- en quelques années, une espèce ligneuse fixatrice d'azote peut-elle améliorer notablement le comportement de la culture suivante ?
- la simple protection de la terre contre le feu et le pâturage n'est-elle pas aussi efficace que la plantation d'arbres ?
- l'exploitation de la jachère pour le bois ne peut-elle pas nuire à la restauration de la fertilité ?

J.-M. HARMAND

Cirad-Forêt, Irad, BP 222, Maroua, Cameroun

C. F. NJITI

Irada, BP 415, Garoua, Cameroun

Contexte et objectifs de l'étude

Dans la région de Garoua au Cameroun, les populations immigrantes, venant de zones sahéliennes plus peuplées, défrichent la savane arborée et développent un système de culture à base de cotonnier et céréales. En moins d'une dizaine d'années, sur ces terrains ferrugineux sableux, des signes de fatigue des sols apparaissent, les rendements baissent et la terre est peu à peu abandonnée. Il s'en suit de nouveaux défrichements, tandis que la zone abandonnée est soumise au pâturage et au feu, facteurs peu ou pas contrôlés ralentissant la régénération de la végétation et la remontée biologique des éléments minéraux.

Pour répondre aux questions énoncées précédemment, il a été décidé, dans le cadre du Projet de recherche Garoua (Ira, Irzv, Cirad)¹, d'installer en 1989 un dispositif expérimental d'étude de la jachère agroforestière et de le suivre jusqu'en 1995. Cette recherche se poursuit depuis 1996 dans le cadre d'une action inter-instituts (Orstom, Cirad, Cnrs)¹. La présente étude a pour objectif de comparer les effets de diverses espèces ligneuses sur les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du sol et sur la productivité de cultures de céréales. Sont comparées à une jachère naturelle herbacée protégée contre le feu et le pâturage, des jachères plantées en *Acacia polyacantha*, *Senna siamea* et *Eucalyptus camaldulensis*. Dans la suite de l'énoncé, les trois espèces ligneuses seront désignées par leur nom de genre pour ne pas alourdir le texte.

La conduite de l'expérimentation

Le site d'étude

Le dispositif expérimental est situé dans le village de Ngong au sud de Garoua. Au cours de la période d'étude, la pluviométrie moyenne annuelle du site a été de 1 050 millimètres. Le sol (tableau 1), de type ferrugineux, formé sur des grès du Crétacé Moyen, est en surface pauvre en matière organique et très sableux ; en profondeur, la texture plus argileuse correspond à une plus grande richesse minérale.

Le protocole expérimental

Après 8 années de jachère surpâturée, la végétation ligneuse à base de combrétacées et d'anonacées est très peu développée. Parmi les principales espèces herbacées, on rencontre *Spermacoce* spp., caractéristiques d'une pression pastorale excessive. La protection contre le feu et contre le pâturage conduit, après trois à quatre ans de jachère, à une formation herbacée à *Andropogon gayanus*.

Les espèces ligneuses plantées sont bien adaptées au milieu et présentent une croissance rapide. Sur le dispositif, les arbres ont été installés en 1989, dans les cultures, 2 ans avant d'arrêter celles-ci. La mise en jachère a eu lieu en 1991 avec protection des peuplements contre le feu et le pâturage ; les herbacées n'ont pas étouffé les jeunes arbres, qui avaient déjà deux ans. Cette technique d'installation des arbres avait été expé-

mentée auparavant avec succès par PELTIER et EYOG MATIG (1988).

Les parcelles ont été cultivées en arachide en 1989 puis en cotonnier en 1990. Le dispositif est un split-plot à 2 niveaux et 3 répétitions. Le premier facteur est la durée de jachère : 2 ans (remise en culture en 1993) et 5 ans (remise en culture en 1996). Le deuxième facteur est le type de jachère.

Les dimensions des parcelles unitaires sont de 28 m x 28 m et celles des parcelles utiles (hors bordures) de 20 m x 20 m. Les plantations d'arbres ont été effectuées à écartement de 4 m x 4 m, soit une densité de 625 pieds par hectare — 49 arbres par parcelle. L'espèce *Senna* n'ayant pas été prévue dans le dispositif initial, elle a été installée en 1990 en contiguïté de la répétition 3. Pour cette parcelle, la mise en jachère a eu lieu en 1992.

En mai 1993, les jachères de 2 ans, correspondant à 4 ans d'âge pour les plantations ligneuses, ont été exploitées. Après exportation du bois de diamètre supérieur à 3 centimètres, les résidus d'exploitation ont été étalés sur les parcelles, puis brûlés.

1. Significations des sigles institutionnels. Ira et Irzv, instituts de recherche camerounais, sont aujourd'hui regroupés dans l'Irad, Institut de la recherche agricole pour le développement (Cameroun).

Cirad : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (France).

Orstom : Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (France).

Cnrs : Centre national de la recherche scientifique (France).

Tableau 1. Caractéristiques chimiques du sol de Ngong après 10 ans de culture continue.

Horizon (cm)	Argile + limons fins (%)	C total (mg/g de sol)	N total (mg/g de sol)	pH eau	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺ (meq/100 g)	S*	CEC*	S/T
0-20	9,2	2,5	0,3	5,83	0,79	0,18	0,06	1,05	1,28	0,81
20-40	11,7	1,8	0,24	5,54	0,49	0,12	0,04	0,68	0,84	0,81
40-60	20,3	1,6	0,23	5,17	0,93	0,28	0,07	1,30	1,59	0,82
60-70	29,9	1,7	-	5,75	1,79	0,56	0,07	2,45	2,66	0,92
70-90	36,4	1,6	-	5,87	2,29	0,80	0,06	3,17	3,38	0,94

S : somme des bases échangeables (Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺) ;
CEC, T : capacité d'échange cationique, S/T : taux de saturation.

avec la litière. Le labour en traction animale a été effectué dans de bonnes conditions malgré les racines et les souches des arbres. La culture de cotonnier a été pratiquée selon l'itinéraire technique préconisé par la Sodecoton (société de développement cotonnière) : 200 kilos par hectare d'engrais complet N-P-K-S-B (formule 15-20-15) et 100 kilos d'urée. En 2^e année de remise en culture (1994), le sorgho a été installé sur les mêmes parcelles en semis direct, sans labour ni engrais.

En 1996, on a procédé de la même manière que précédemment pour l'exploitation des jachères de 5 ans, qui correspondaient à des plantations ligneuses de 7 ans. Le labour en traction animale a été effectué avant le semis du maïs.

L'étude des sols

En juin 1989, avant la mise en place de l'essai, l'estimation des teneurs des sols en différents éléments a été faite sur des échantillons composites de quatre prélèvements par parcelle, aux profondeurs 0-20 et 20-40 centimètres.

Les processus d'humification et de décomposition ayant lieu préférentiellement dans les horizons supérieurs du sol avec l'incorporation de la litière et le renouvellement racinaire, les changements attendus des matières organiques du sol et des caractéristiques qui y sont liées se situent donc plutôt en surface avec probablement un gradient vers la profondeur. Aussi, en 1995, après 4 ans de jachère, nous avons subdivisé l'horizon 0-20 centimètres : analyses à 0-10 et 10-20 centimètres et prélèvement de l'horizon 0-5 centimètres. Dans chaque parcelle, 2 échantillons composites de 8 prélèvements ont été effectués par horizon jusqu'à 60 centimètres de

profondeur. En dessous, un seul échantillon par parcelle a été réalisé. La densité apparente a été déterminée en 1995, pour chaque horizon, avec la technique du cylindre — 6 répétitions dans 2 fosses pédologiques sur chaque parcelle et chaque horizon.

Les analyses chimiques des sols ont été exécutées au laboratoire du Cirad à Montpellier (France). Le fractionnement granulométrique de la matière organique du sol — séparation des matières organiques à caractère végétal figuré (diamètre supérieur à 20 µm) de celles liées aux colloïdes minéraux (diamètre inférieur à 20 µm) et analyse du contenu — a été réalisé au Laboratoire de comportement des sols cultivés (Lcsc) de l'Orstom à Montpellier. La méthode utilisée a été celle recommandée par FELLER (1995) pour les sols sableux à faible stabilité structurale.

La minéralisation de l'azote du sol a été mesurée *in situ* durant toute la saison des pluies 1995 sur l'horizon 0-20 centimètres selon la méthode utilisée par BERNHARD-REVERSAT (1982).

Les effets sur les sols

La mise en jachère améliore la porosité du sol en surface

La densité apparente est inversement liée à la porosité du sol. Dans notre étude, les variations significatives de densité apparente entre les différents modes de gestion du sol sont limitées à la profondeur de 5 centimètres. Les plus faibles densités obtenues sous *Acacia*, jachère herbacée protégée et *Senna* indiquent une plus forte porosité du sol que sous *Eucalyptus*, où elle est tout de même améliorée

par rapport à la culture continue (tableau 2). Il existe une corrélation significative ($r = -0,65$; $P < 0,001$) entre la densité apparente et la teneur en carbone du sol, signifiant que la porosité du sol augmente avec l'incorporation de matière organique au sol. Cette situation peut être due à plusieurs processus :

- la minéralisation des débris végétaux inclus dans le sol, créant des pores ;
- l'activité de la faune du sol favorisant la formation de micro-galeries souterraines ;
- la formation de microagrégats plus stables sous l'effet des apports organiques.

Amélioration des teneurs en carbone et en azote après 4 ans de jachère à *Acacia*

Le tableau 3 donne, après 4 ans de jachère, les teneurs du sol en carbone et azote. Les différences significatives de teneur en carbone entre les types de jachère sont limitées à la profondeur de 20 centimètres. Pour les modes de gestion du sol, il n'y a pas de différence en dessous de 40 centimètres. En accord avec les résultats de l'analyse de variance, les traitements se classent, par rapport à leur action sur le carbone et l'azote du sol, selon l'ordre décroissant suivant : *Acacia* > jachère spontanée herbacée ≥ *Eucalyptus* > culture continue (remarque : *Senna* est hors dispositif).

Ces résultats sont confirmés par l'étude des variations² des teneurs en carbone et azote de l'horizon 0-20

2. Durant la phase de culture, on considère généralement que la perte de carbone organique au cours du temps est proportionnelle à la quantité de carbone préexistante et correspond à l'équation $dC/dt = -kC$, k étant la constante de perte apparente de l'humus du sol (JENNY, 1950). Selon la formule précédente, la teneur en carbone va chuter en n années selon un rythme annuel k , donné par la relation : $k(\%) = [(Ln Co - Ln Cn)/n] 100$, avec Co carbone organique initial, et Cn après n années. Dans cette étude, le carbone organique, représentant 93 à 96 % du carbone total, a été confondu avec ce dernier.

Tableau 2. Densités apparentes de l'horizon 0-5 cm des sols des différentes situations en 1995.

ACP	(SEN)	EUC	JHP	CULT
1,32 c	(1,32)	1,37 b	1,33 c	1,44 a

Deux valeurs indexées d'une même lettre ne sont pas différentes au seuil de 5 %. ACP : *Acacia*, SEN : *Senna*, EUC : *Eucalyptus*, JHP : jachère herbacée protégée, CULT : culture continue.

Tableau 3. Carbone total et azote total du sol en juin 1995, après 4 ans de jachère. Les analyses de variance sont faites indépendamment pour chaque horizon. Les lettres a, b et c indiquent les groupes homogènes.

Profondeur (cm)	<i>Acacia</i>	Jachère herbacée protégée	<i>Eucalyptus</i>	Culture continue	Seuil de signification
Carbone total (mg/g de sol)					
0-5	5,3 a	4,9 ab	4,0 b	3,0 c	0,0002
0-10	4,1 a	3,4 b	3,1 bc	2,6 c	0,0003
10-20	3,0 a	2,6 ab	2,3 b	2,4 b	0,04
20-40	2,5 a	2,1 ab	1,9 ab	1,8 b	0,1
Azote total (mg/g de sol)					
0-5	0,46 a	0,42 ab	0,35 bc	0,30 c	0,0014
0-10	0,38 a	0,34 a	0,34 a	0,27 b	0,0004
10-20	0,30 a	0,27 a	0,25 a	0,25 a	0,24
20-40	0,29 a	0,24 b	0,23 b	0,24 b	0,0165

centimètres au cours de la période de jachère (figure 1). Les teneurs initiales de chaque parcelle, déterminées à partir d'un échantillon composite au moment de la plantation des arbres, sont comparées aux analyses de 1995 faites sur les mêmes parcelles.

La figure 1 indique, pour l'horizon 0-20 centimètres, une baisse significative de la teneur en carbone en culture continue de 0,6 milligramme par gramme de sol en 6 ans, soit un taux k de dégradation de la matière organique de 3,6 % par an. Si on applique ce taux aux autres traitements pour la période 1989-1991, on en déduit les teneurs en carbone du sol des différentes parcelles en 1991 avant la mise en jachère. A partir de cette date, la teneur en carbone augmente de façon hautement significative sous

Acacia (1 mg/g de sol en 4 ans). Il faut préciser que l'augmentation en carbone de 1989 à 1995 est également significative ($\Delta C = 0,8$ mg/g de sol et $P = 0,008$). Aucune variation significative n'est perceptible sous *Eucalyptus* et jachère herbacée. Il semblerait que ces traitements permettent de maintenir un stock organique constant de l'horizon 0-20 centimètres, contrairement au traitement culture. Cette approche diachronique confirme l'effet superficiel de la jachère naturelle sur les teneurs en carbone et azote du sol et la supériorité d'*Acacia*.

L'azote montre des variations analogues à celles du carbone mais proportionnellement moins élevées et à peine significatives dans le cas de la culture et d'*Acacia*.

L'augmentation des teneurs en carbone et en azote est essentiellement due aux débris végétaux

De l'étude du fractionnement granulométrique des matières organiques du sol réalisée par HARMAND (1997), nous retiendrons les points suivants :

- les augmentations des teneurs en carbone et azote du sol avec les différentes jachères et en particulier *Acacia*, sont dues surtout aux débris végétaux du sol de taille supérieure à 50 μm ;
- *Senna* montre une teneur en débris végétaux du sol (supérieurs à 50 μm) plus proche de celle de la jachère herbacée que d'*Acacia* ;
- le plus faible rapport C/N des débris végétaux du sol sous *Acacia* par rap-

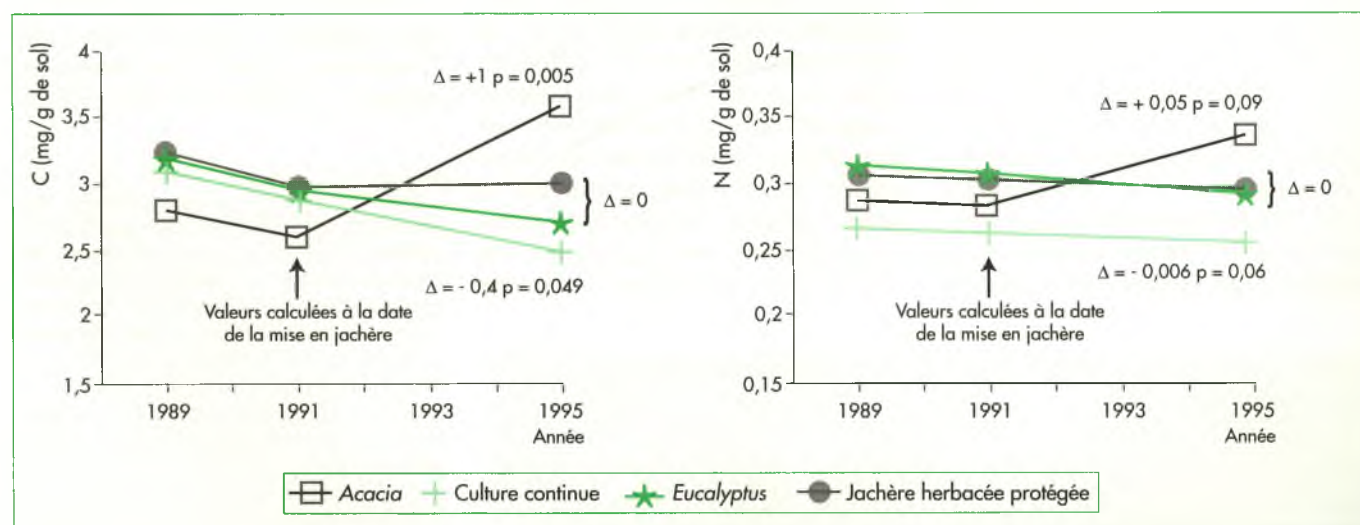


Figure 1. Variation des teneurs en carbone et azote totaux de l'horizon 0-20 cm du sol, entre 1989 et 1995. Une variation Δ différente de 0 ($\Delta \neq 0$) correspond à une variation significative de C ou de N entre 1991 et 1995.

port aux autres systèmes pourrait expliquer la plus grande disponibilité en azote minéralisable du sol également observée dans cette étude.

Peu de répercussions sur la capacité d'échange cationique et les autres caractéristiques minérales du sol

De façon générale, en 1995, pour l'horizon 0-10 centimètres, les caractéristiques du complexe absorbant :

CEC, somme des bases (S), teneurs en Mg^{2+} et Ca^{2+} sont corrélées positivement avec le carbone ($0,7 < r < 0,91$ et $P < 0,001$). Les variations significatives des teneurs en carbone induites par les différents modes de gestion du sol se répercutent sur les caractéristiques minérales, dont les variations sont moins rapides et pas toujours significatives. La hiérarchisation des traitements jachères n'apparaît de façon significative que pour quelques composantes : Mg^{2+} , K^+ et S/T (tableau 4).

Pour l'horizon 0-20 centimètres, l'évolution de la CEC, entre 1989 à 1995

est représentée sur la figure 2. Les baisses de teneur en carbone sous culture continue et *Eucalyptus* s'accompagnent de baisses significatives de la CEC. En revanche, l'augmentation significative du taux de carbone sous *Acacia* ne correspond pas à une augmentation de CEC. On sait, d'après FELLER (1995), que pour ce type de sol, ce sont les fractions inférieures à 20 μm et surtout celles inférieures à 2 μm qui contribuent le plus à la CEC organique. Les variations maximales de CEC, au cours de la phase de jachère, sont donc limitées puisque les variations de carbone

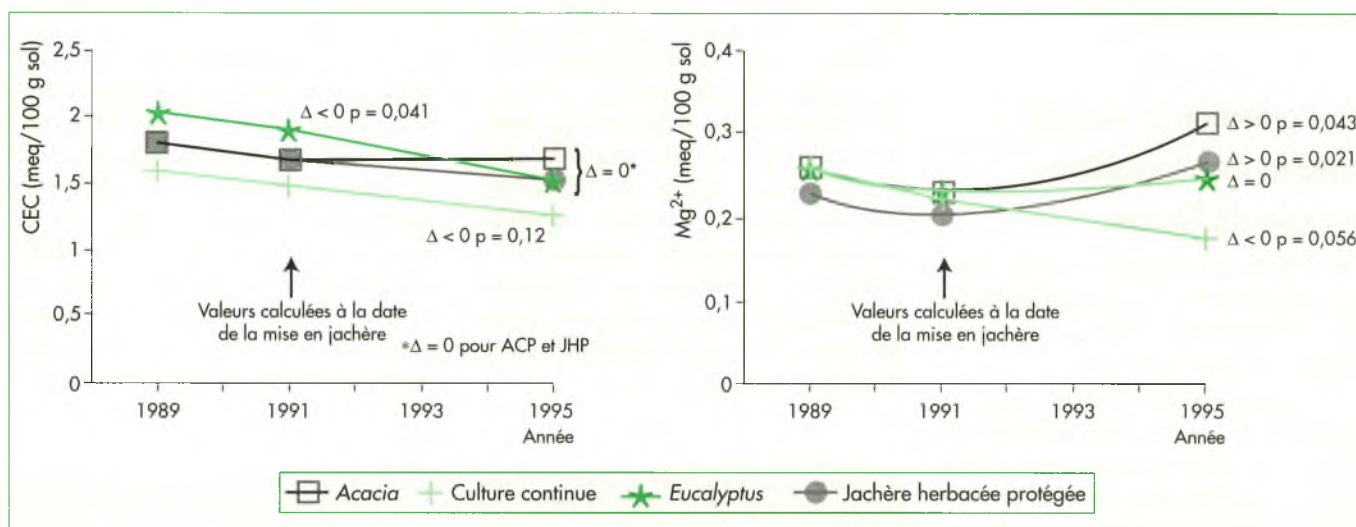


Figure 2. Variation de quelques caractéristiques minérales de l'horizon 0-20 cm du sol, entre 1989 et 1995. Une variation Δ différente de 0 ($\Delta \neq 0$) correspond à une variation significative de la variable entre 1991 et 1995.

Tableau 4. Caractéristiques minérales du sol en juin 1995, après 4 ans de jachère. Les analyses de variance sont faites indépendamment pour chaque horizon. Le seuil de signification de l'analyse de variance est précisé (0,05 : *, 0,01 : **, 0,001 : ***) ; les lettres a, b et c indiquent les groupes homogènes.

Traitement	Horizon (cm)	Arg. + lim. (%)	pH eau	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	S	CEC	S/T
(meq/100g)									
Acacia	0-10	6,9	6,33 a**	1,19	0,41 a***	0,07	1,69 a*	1,88 a*	0,90
	10-20	8,3	6,05	0,94	0,22	0,09	1,27	1,53	0,82 ab*
	20-40	11,3	5,68	0,73	0,18 a*	0,07 a*	0,99	1,15	0,86 a*
Eucalyptus	0-10	6,4	6,45 a**	1,15	0,30 b***	0,10	1,57 a*	1,74 a*	0,90
	10-20	9,2	5,84	0,79	0,20	0,07	1,07	1,37	0,78 b*
	20-40	11,7	5,57	0,51	0,18 a*	0,05 b*	0,75	1,00	0,74 b*
Jachère herbacée protégée	0-10	7,4	6,41 a**	1,13	0,35 ab***	0,07	1,56 a*	1,67 ab*	0,93
	10-20	9,7	5,99	0,95	0,20	0,07	1,24	1,42	0,86 a*
	20-40	11,4	5,64	0,65	0,14 ab*	0,06 ab*	0,86	1,00	0,85 a*
Culture continue	0-10	8,3	6,05 b**	0,85	0,19 c***	0,06	1,11 b*	1,26 b*	0,88
	10-20	10,1	5,82	0,73	0,18	0,06	0,99	1,29	0,74 b*
	20-40	11,7	5,54	0,49	0,12 b*	0,04 b*	0,68	0,84	0,81 ab*

concernent prioritairement les fractions supérieures à 50 µm. La seule caractéristique minérale autre que la CEC, ayant montré une évolution significative dans l'horizon 0-20 centimètres, est le taux de Mg^{++} (figure 2).

En conclusion, l'amélioration progressive de la fertilité minérale des horizons de surface du sol sous jachère est lente. Sous *Acacia*, l'augmentation de la CEC induite par l'accroissement de teneur en carbone du sol n'est pas mise en évidence en 4 ans. L'enrichissement en bases échangeables dû à la saturation du complexe absorbant favorisée par le recyclage des cations n'est effectif que pour le magnésium.

L'introduction d'*Acacia* dans la jachère active le cycle de l'azote

De l'étude du cycle de l'azote dans les peuplements de jachère réalisée par HARMAND (1997), on peut retenir les points suivants :

- le stockage de l'azote dans la jachère à *Acacia*, à la fois dans les différents compartiments de biomasse et dans la matière organique du sol, est beaucoup plus important que dans les autres systèmes. Cela est dû à la fixation symbiotique et à un fort recyclage de l'azote par la litière qui se décompose rapidement ;
- malgré la plus forte accumulation de l'azote dans le sol sous *Acacia*, le taux de minéralisation de l'azote est également plus important que dans les autres situations (17 % de l'azote total du sol) (tableau 5) ;

– la grande quantité d'azote minéralisé favorise un stockage de l'azote dans le système racinaire de l'*Acacia* très développé en surface (tableau 5).

Influence des jachères sur les rendements en sorgho et en maïs

Après 2 ans de jachère, *Acacia* améliore le rendement du sorgho

En juin 1993, après 2 ans de jachère, les productions de coton graine n'ont pas montré de différence en fonction du précédent. En revanche, en 1994, la culture de sorgho, installée sans engrais et sans travail du sol sur les mêmes parcelles, a permis de différencier les précédents (tableau 6). Le précédent *Acacia* permet de doubler la production par rapport aux autres jachères et de façon hautement significative ($P = 0,0001$, test t).

La plus grande disponibilité en azote minéral dans le sol, en particulier en nitrates, observée après *Acacia* (figure 3) peut expliquer ce meilleur développement du sorgho. Néanmoins, l'origine de cet azote assimilable par la plante reste à élucider, car en 1993, avant l'exploitation des jachères de 2 ans, il n'apparaît pratiquement pas d'évolution des caractéristiques du sol. On ne perçoit, dans l'horizon 0-10 centimètres, aucune différence significative entre les types de jachère et la culture continue pour le carbone et l'azote totaux et la CEC (HARMAND, 1997). Compte tenu du fonctionnement azoté du précédent, l'azote total après *Acacia* est vraisemblablement sous une forme plus facilement minéralisable qu'après les autres précédents. On peut penser également que le comportement de la deuxième culture a été influencé par la restitution des éléments minéraux immobilisés dans des compartiments végétaux non pris en compte dans les analyses chimiques de sol. Le brûlis ayant éliminé la majeure partie de l'azote de la litière et des résidus d'exploitation, le stock d'azote minéralisable disponible pour les cultures sui-

Tableau 5 : Eléments du cycle de l'azote dans les peuplements de jachère. Pour une même variable, deux valeurs indexées d'une même lettre ne sont pas différentes au seuil de 5 %.

Cycle de l'azote	<i>Acacia</i>	<i>Senna</i>	<i>Eucalyptus</i>	Jachère herbacée
Minéralisation de N du sol en 1995 : kg N/ha/an	166 a	25 c	40 b	26 c
% de N total du sol	17 a	3,1 d	6,1 b	3,6 c
Stockage de N dans la phytomasse racinaire en 1995 (kg N/ha) :				
racines fines ($\varnothing < 2\text{mm}$)	190 a	130 b	52 c	55 c
grosses racines + souches	152	35	54	-
total racines	342	165	106	55

Tableau 6 : Rendement en sorgho en 2^e année de culture (1994) après 2 ans de jachère et rendement en maïs en 1^{ère} année de culture (1996) après 5 ans de jachère, en t/ha, en fonction du type de jachère ou en culture continue.

		Type de jachère				
		<i>Acacia</i>	<i>Senna</i>	Jachère herbacée	<i>Eucalyptus</i>	Culture continue
Sorgho 1994	Moyenne	2,64 a		1,39 b	1,28 b	0,81 c
	Ecart type	0,53		0,13	0,35	0,55
	n*	12		4	12	24
Maïs 1996	Moyenne	3,03 a	1,02	0,81 b	0,74 b	0,53 b
	n*	4	hd*	4	4	4

n : nombre de placeaux ; hd : hors dispositif ; a, b : deux valeurs indexées d'une même lettre ne sont pas différentes au seuil de 5 %.

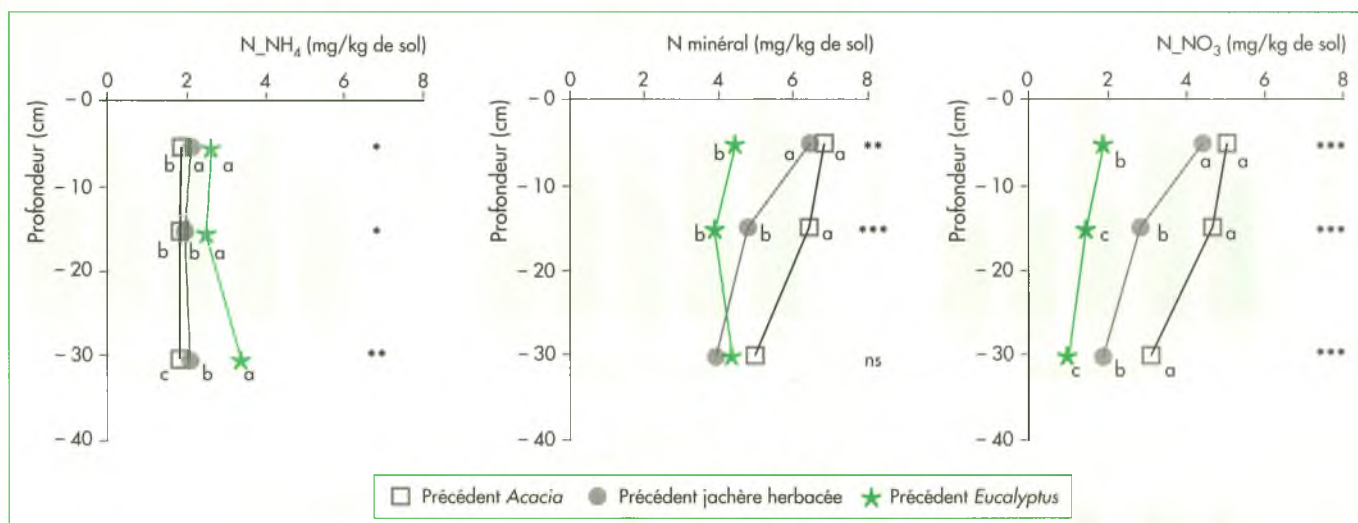


Figure 3. Teneur en azote minéral du sol sous culture de sorgho après différents précédents jachère à la date du 30 juin 1994. Le seuil de signification de l'analyse de variance pour chaque profondeur est précisé (*, **, ***, ns) et les lettres a, b et c indiquent les groupes homogènes.

vantes est surtout constitué de la nécromasse (matériel végétal mort) racinaire dont la décomposition peut être importante entre les deux premières cultures en intersaison sèche (MANLAY *et al.*, 1996). Dans le cas d'*Acacia*, légumineuse fixatrice d'azote, cette réserve a été plus importante (tableau 5) et/ou plus vite minéralisée.

Maïs après *Acacia* : transfert d'azote à la culture

En 1996, après 5 ans de jachère, les rendements de la culture de maïs pratiquée sans engrais, montrent l'effet supérieur du précédent *Acacia* (tableau 6). Cet effet est à mettre en relation avec le niveau convenable de nutrition azotée du maïs après *Acacia*, donné par la teneur en azote des feuilles prélevées selon la méthode du diagnostic foliaire de LOUE (1965). Cette teneur est de 3 % alors que, dans les autres précédents, elle est en moyenne de 2,2 %, bien en dessous du seuil de carence admis — 3 % (GAMBOA, 1978).

L'effet favorable d'*Acacia* n'est pas montré par les caractéristiques du complexe d'échange de l'horizon 0-10 centimètres, mesurées sous culture en juillet 1996 après brûlis des résidus et 300 millimètres de pluie. Ces caractéristiques ne différaient pas entre les précédents jachère ligneuse (figure 4).

Néanmoins, en 1996, les caractéristiques minérales des jachères ligneuses, en particulier Ca⁺⁺ et la somme des bases, étaient améliorées par rapport à la jachère herbacée. Cela signifie que les plantations d'arbres sont plus efficaces que la jachère naturelle herbacée protégée, pour la remontée et la restitution des éléments minéraux à la surface du sol, et ceci malgré les exportations de bois de diamètre supérieur à 3 centimètres. Ces plus fortes restitutions sont liées aux plus fortes biomasses des jachères ligneuses.

Pour conclure, la plus forte production de la culture après *Acacia* est due à une teneur accrue en azote du sol, également plus facilement minéralisable, mais aussi à un stockage plus élevé d'azote et d'autres nutriments dans la matière organique du sol et dans la phytomasse racinaire.

Conclusion

Synthèse des résultats

Cette étude montre bien que la restauration de la fertilité du sol par la jachère ne dépend pas seulement de l'âge mais aussi du type et de la vigueur de la végétation en place.

Après 6 ans de plantation d'*Eucalyptus*, on a observé une évolution

plutôt défavorable des caractéristiques du sol, avec une mauvaise incorporation de la litière au sol sous forme de débris végétaux et une plus faible porosité du sol que dans les autres jachères. La jachère naturelle herbacée, protégée contre le feu et le pâturage, et la plantation de *Senna* ont eu un effet favorable superficiel sur les teneurs en carbone du sol. Seule la plantation d'*Acacia* a permis une amélioration nette de la teneur en carbone après 6 ans de plantation (4 ans de jachère). Pour cette espèce, la fixation d'azote atmosphérique et son recyclage important, par l'intermédiaire de la litière en décomposition rapide, augmentent son stockage dans le sol.

L'action de la jachère sur la matière organique du sol se manifeste principalement par une augmentation des débris végétaux peu efficaces dans les propriétés d'échange cationique. Néanmoins, elle est plus ou moins facilement minéralisable et constitue une source de nutriments pour les plantes de la jachère et les cultures suivantes.

Comme l'ont déjà montré SCHROTH *et al.* (1995), l'étude des caractéristiques organiques et des processus biologiques, telle que l'aptitude à la minéralisation de l'azote, s'est révélée plus pertinente que certaines analyses chimiques de sol effectuées couram-

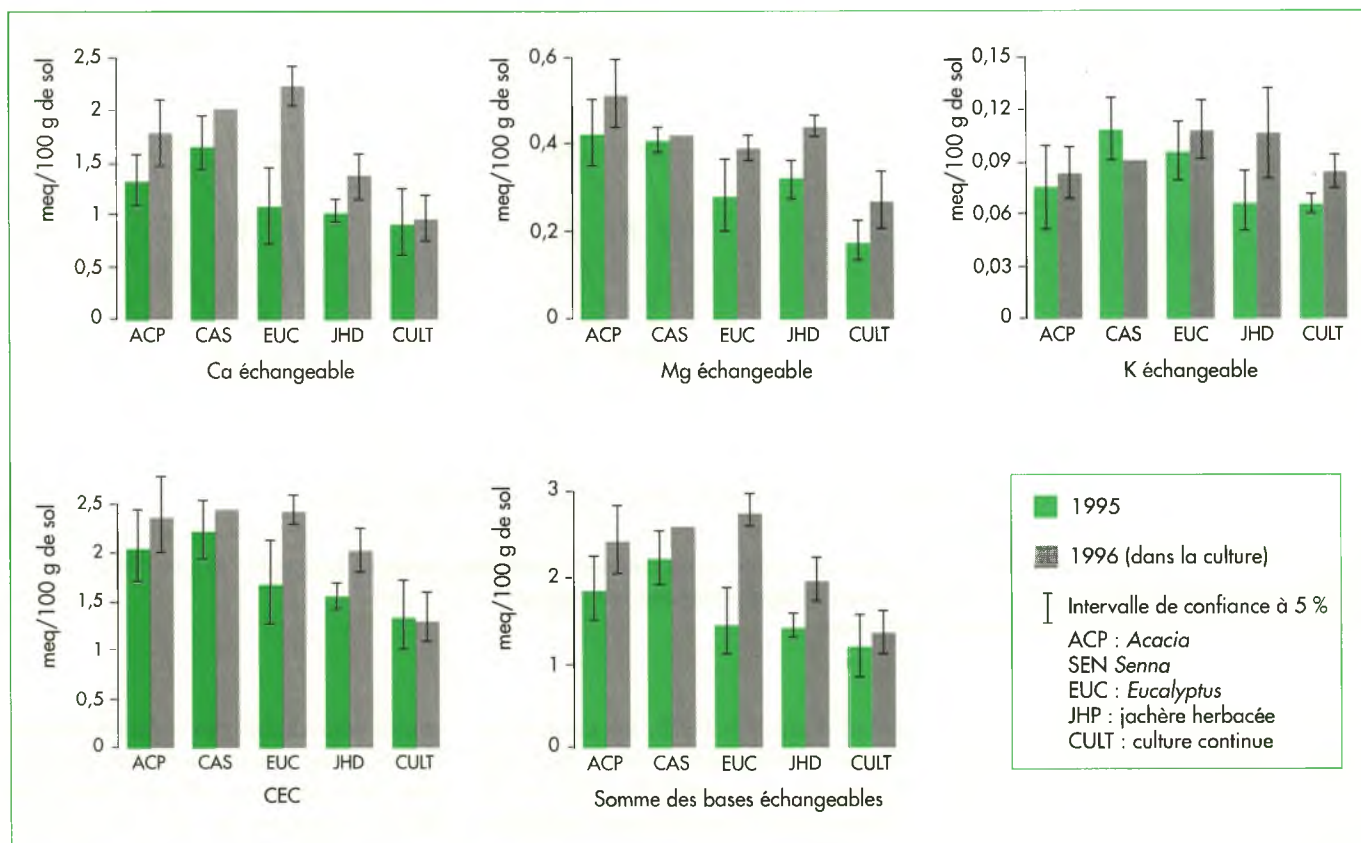


Figure 4. Variations des caractéristiques minérales de l'horizon 0-10 cm entre 1995 et 1996 avec l'exploitation des peuplements de jachères et le brûlis de la litière et des résidus.

ment en début de cycle cultural, en particulier l'étude du complexe absorbant. Par rapport à ce constat, l'aptitude agronomique des espèces ligneuses de jachère pourrait être évaluée par différents indicateurs comme la qualité de la litière, les caractéristiques racinaires (biomasse et renouvellement) et les activités biologiques du sol ayant une influence sur les cycles du carbone et de l'azote.

Propositions d'utilisation des espèces étudiées

Etant donné son manque d'effet favorable sur la matière organique et la porosité du sol, ayant des conséquences néfastes sur le démarrage des cultures suivantes dans nos parcelles (HIEN, 1996), *Eucalyptus camaldulensis* n'est pas recommandable en jachère de courte durée et doit plutôt être installé sur les sols peu propices à l'agriculture. Dans la situation des sols ferrugineux sur grès de la région de Garoua, cela

correspond essentiellement aux piémonts de colline au sol superficiel et souvent caillouteux.

La jachère ligneuse améliorée peut être utilisée comme une technique agroforestière de réhabilitation de sol, à laquelle on ferait succéder un système de culture conservateur de la fertilité du sol de type agriculture sur mulch ou agriculture sous parc arboré. La couverture végétale (mulch) pourrait être constituée, dans un premier temps, de la litière de la jachère et le parc arboré, d'une partie des arbres de la jachère. Selon les espèces, différents scénarios sont envisageables.

Dans le cas de *Senna siamea*, l'absence de brûlis au moment de l'exploitation de la jachère permettra de conserver l'azote de l'agrosystème et de maintenir les souches en vie en association avec les cultures. Traitées en taillis fureté, ces souches serviront de base à une nouvelle phase de jachère. Cette technique reste à expérimenter à partir des boisements qui existent en milieu paysannal.

Dans le cas d'*Acacia polyacantha*, des arbres pourront être conservés en phase de culture afin de fournir de l'azote facilement minéralisable aux plantes cultivées. L'élagage partiel de ces arbres permettra de réduire les éventuels effets dépressifs sur les cultures dus à l'ombrage et à la concurrence racinaire en particulier pour l'eau. Ainsi taillés, les acacias fourniront du bois de service, comme c'est déjà le cas dans les parcs arborés des Monts Mandara au Cameroun. L'inconvénient d'*A. polyacantha* est sa faible production de gomme, obtenue pour l'instant uniquement en conditions naturelles. Un autre *Acacia* soudano-sahélien, *A. senegal*, est adapté à toutes les stations de la zone soudanienne (HARMAND *et al.*, 1995) et fournit, dès l'âge de 4 ans, une gomme dure en quantité intéressante après saignée de l'arbre (60 à 250 kg/ha/an). Cette espèce fixatrice d'azote améliore les teneurs en carbone et en azote du sol (HUSSEIN, 1990) et représente un enjeu économique pouvant motiver sa plantation en milieu rural.

Bibliographie

BERNHARD-REVERSAT F., 1982. Biogeochemical cycle of nitrogen in a semi-arid savanna. *Oikos* 32: 321-332.

FELLER C., 1995. La matière organique dans les sols tropicaux à argile 1:1. Recherche de compartiments organiques fonctionnels. Une approche granulométrique. Thèse de doctorat d'Etat, Orstom, Université Louis Pasteur, Strasbourg, France, 393 p. + annexes.

FELLER C., LAVELLE P., ALBRECHT A., NICOLARDOT B., 1993. La jachère et le fonctionnement des sols tropicaux. Rôle de l'activité biologique et des matières organiques. Quelques éléments de réflexion. In *Atelier international. La jachère en Afrique de l'Ouest*, C. FLORET et G. SERPANTIER (Ed.), Montpellier, France, 2-5 décembre 1991. Orstom, Paris, France, p. 14-32.

GAMBOA A., 1978. La fertilité du maïs. Bulletin IIP, 5. Institut international de la potasse, Berne, Suisse, 72 p.

GREENLAND D.J., NYE P.H., 1959. Increases in the carbon and nitrogen contents of tropical soils under natural fallows. *Journal of Soil Science* 10: 284-299.

HARMAND J.-M., NJITI F. C., NTOUPKA M., 1995. Projet Garoua - Agroforesterie. Contribution de la recherche à la gestion de l'arbre et des

formations naturelles de savane en zone soudanienne du Cameroun. Irad, Garoua, Cameroun, Cirad, Montpellier, France, 17 p.

HARMAND J.-M., 1997. Rôle des espèces ligneuses à croissance rapide dans le fonctionnement biogéochimique de la jachère. Effets sur la restauration de la fertilité des sols ferrugineux tropicaux. (Bassin de la Bénoué au Nord-Cameroun). Thèse de doctorat, université de Paris VI, France, 213 p. + annexes.

HUSSEIN S.E.G., 1990. The influence of fallow under *Acacia senegal* (L.) Willd. on the C and N content of the soil. *Beitrag zur Tropischen Landwirtschaft und Veterinarmedizin*, 28 (2): 217-222.

HIEN E., 1996. Effets de jachères de diverses natures sur le statut organo-minéral d'un sol ferrugineux tropical dégradé. Conséquences pour la culture. Cas de Ngong - Nord Cameroun. Mémoire de fin d'études, Cnearc-Eitarc, Montpellier, France, Irad, Garoua, Cameroun, Cirad, Montpellier, France, 77 p.

JAIEYEOBA I.A., 1988. Build-up organic matter and nutrients. *Malaysian Journal of Tropical Geography* 18: 10-16.

LOUE A., 1965. Le diagnostic foliaire du maïs (méthodologie, état actuel des connaissances, utilisation). Inst. Int. Potasse 4^e colloque, Belgrade, Bulgarie, p.105-116.

MANLAY R., MASSE D., KAIRE M., PONTANIER R., 1996. Dynamique du carbone lors

du cycle culture-jachère. In *Raccourcissement du temps de jachère, Biodiversité et développement durable en Afrique Centrale* (Cameroun) et en Afrique de l'Ouest (Sénégal, Mali). Rapport scientifique 1996, CCE, p. 29-34.

MOREL R., QUANTIN P., 1964. Les jachères et la régénération du sol en climat soudano-guinéen d'Afrique Centrale. *L'Agronomie Tropicale* 19 (2) : 105-133.

OUATTARA B., HIEN V., OUATTARA K., LOMPO T., BILGO A., SERPANTIE G., 1997. Etats physico-chimiques des sols cultivables en zone cotonnière du Burkina Faso. Effets de l'histoire culturale et du type de milieu. In *actes de l'atelier Jachère et maintien de la fertilité*, C. FLORET et R. PONTANIER (Ed.), Bamako, Mali, 2-4 octobre 1997. Ier, Orstom, Bamako, Mali, p. 17-32.

PELTIER R., EYOG MATIG O., 1988. Les essais d'agroforesterie au Nord-Cameroun. *Bois et Forêts des Tropiques* 217 : 3-31.

PIERI C., 1989. Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Agridoc-International, Paris, France, Cirad, Montpellier, France, 444 p.

SCHROTH G., KOLBE D., PITY B., W. ZECH, 1995. Searching for criteria for the selection of efficient tree species for fallow improvement, with special reference to carbon and nitrogen. *Fertilizer Research* 42: 297-314.

Résumé... Abstract... Resumen

J.-M. HARMAND, C. F. NJITI — Effets de jachères agroforestières sur les propriétés d'un sol ferrugineux et sur la production céréalière.

Cette étude, réalisée en zone soudanienne du Cameroun sous 1 050 mm de pluie annuelle, a pour objectif d'évaluer les effets de diverses jachères sur les caractéristiques du sol et sur la production de céréales. Sont comparées à une jachère naturelle herbacée protégée contre le feu et le pâturage, des jachères plantées en *Acacia polyacantha*, *Senna siamea* et *Eucalyptus camaldulensis*. *E. camaldulensis* a montré, après 6 ans de plantation, une évolution plutôt défavorable des caractéristiques du sol — mauvaise incorporation de matière organique au sol, plus faible porosité du sol que dans les autres jachères. La jachère herbacée et la plantation de *S. siamea* ont eu un effet favorable superficiel sur la teneur en carbone du sol, mais seule la plantation d'*A. polyacantha* a permis une amélioration nette des teneurs en carbone et azote du sol après 6 ans de plantation (4 ans de jachère). L'action sur la matière organique du sol, en particulier *A. polyacantha*, se manifeste surtout par l'augmentation des débris végétaux grossiers (> 50µm) peu efficaces dans les propriétés d'échange cationique ; l'effet sur la capacité d'échange cationique n'est pas visible après 4 ans de jachère. La plus grande capacité d'*A. polyacantha*, espèce fixatrice d'azote, à stocker de l'azote facilement minéralisable dans la matière organique du sol et dans la phytomasse racinaire, explique son effet supérieur sur le comportement des cultures suivantes après 2 et 5 ans de jachère. Différents scénarios d'utilisation des espèces étudiées sont proposés.

Mots-clés : agroforesterie, *Acacia polyacantha*, *Senna siamea*, *Eucalyptus camaldulensis*, fertilité, carbone, azote, capacité d'échange cationique, sorgho, maïs, Cameroun.

J.-M. HARMAND, C. F. NJITI — Effect of agroforest fallow on the fertility of a ferruginous soil and on cereal production.

This study, conducted in the Sudanese region of Cameroon, with 1 050 mm of rain per year, set out to assess the effects of various types of fallow on soil characteristics and cereal production. A natural herbaceous fallow protected against fire and grazing was compared with fallow planted with *Acacia polyacantha*, *Senna siamea* and *Eucalyptus camaldulensis*, which showed that in the six years after planting, soil characteristics deteriorated in the *E. camaldulensis* fallow - poor organic matter incorporation into the soil, lower soil porosity - compared to the other types. Herbaceous fallow and *S. siamea* had a positive effect on soil carbon content, but only *A. polyacantha* led to a marked improvement in carbon and nitrogen contents six years after planting (four years' fallow). The effect on soil organic matter content, particularly of *A. polyacantha*, was primarily reflected in an increase in large fragments of plant debris (> 50µm), which are largely ineffective in terms of cation exchange capacity; there was no visible effect on CEC after four years' fallow. The fact that *A. polyacantha*, a nitrogen fixing species, was more able to store nitrogen that was easily mineralizable in the soil organic matter and root biomass accounts for its more marked effect on the performance of subsequent crops after two and five years' fallow. Different ways of using the species studied are proposed.

Keywords: agroforestry, *Acacia polyacantha*, *Senna siamea*, *Eucalyptus camaldulensis*, fertility, carbon, nitrogen, cation exchange capacity, sorghum, maize, Cameroon

J.-M. HARMAND, C. F. NJITI — Efectos de barbechos agroforestales en la fertilidad de un suelo ferruginoso y en la producción de cereales.

Este estudio, realizado en zona sudanesa de Camerún con 1050 mm de lluvia anual, tiene por objetivo evaluar los efectos de varios barbechos en las características del suelo y en la producción de cereales. Se comparan con un barbecho natural herbáceo protegido contra el fuego y el pasto, barbechos sembrados con *Acacia polyacantha*, *Senna siamea* y *Eucalyptus camaldulensis*. *E. camaldulensis* mostró, después de 6 años de plantación, una evolución más bien desfavorable de las características del suelo — mala incorporación de materia orgánica en el suelo, más baja porosidad del suelo que en los demás barbechos. El barbecho herbáceo y la siembra de *S. siamea* surtieron un efecto favorable superficial en el contenido de carbono del suelo, pero sólo la siembra de *A. polyacantha* permitió un nitido mejoramiento de los contenidos de carbono y nitrógeno después de 6 años de plantación (4 años de barbecho). La acción del suelo en la materia orgánica, en particular *A. polyacantha*, se manifiesta sobre todo por el aumento de los residuos vegetales gruesos (> 50µm) poco eficaces en las propiedades de intercambio cationico; el efecto en la capacidad de intercambio cationico no es visible al cabo de 4 años de barbecho. La mayor capacidad de *A. polyacantha*, especie fijadora de nitrógeno, al almacenar nitrógeno fácilmente mineralizable en la materia orgánica del suelo y en la fitomasa radicular, explica su efecto superior sobre el comportamiento de los cultivos a venir después de 2 y 5 años de barbecho. Se proponen distintos escenarios de utilización de las especies estudiadas.

Palabras-claves: agroforestería, *Acacia polyacantha*, *Senna siamea*, *Eucalyptus camaldulensis*, fertilidad, carbono, nitrógeno, capacidad de intercambio cationico, sorgo, maíz, Camerún.